"Scientia"

RIVISTA DI SCIENZA

ORGANO INTERNAZIONALE

DI SINTESI SCIENTIFICA

ANNO PRIMO - VOLUME PRIMO

(EDIZIONE PER L' ITALIA)

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI
MCMVII

LONDON
WILLIAMS AND NORGATE

PARIS
FÉLIX ALCAN

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN

È assolutamente vietata la riproduzione degli articoli inseriti in questa Rivista.

BOLOGNA - COOPERATIVA TIPOGRAFICA AZZOGUIDI

DELLA ENERGETICA MODERNA.

Dopochè, verso la metà del secolo scorso, fu riconosciuta universalmente l' importanza capitale della legge della conservazione dell' Energia, sorse anche la convinzione che questa legge dovesse costituire la base delle scienze naturali ed anzitutto della fisica. Lo svolgimento di questa idea, che si presentava come sommamente plausibile, fu tuttavia intralciato e ritardato da ostacoli d' ogni maniera, così che ancor oggi si riesce a mala pena a trovare un trattato di fisica, in cui l' esposizione delle singole leggi e delle loro conseguenze sia fatta seguendo rigidamente questo criterio. E meno ancora s' è fatto nel campo delle scienze confinanti.

Così si chiuse il secolo decimonono, senza che si riconoscesse ad una delle sue più grandi scoperte il valore pratico e l' importanza, che invero non si può negarle. Un accenno a questo dovere ed a questa necessità, fatto da me a Lubecca nel 1896 in una conferenza sulla *Disfatta del materialismo scientifico,* tenuta in occasione della riunione annuale dei naturalisti tedeschi, richiamò, è vero, l' attenzione di molti, ma non riuscì a modificare essenzialmente quello stato di cose. Era perciò necessario di mostrare, portando uno sguardo sintetico nei dominî generali della scienza, che il concetto e le leggi dell' Energia hanno in sè stessi realmente la facoltà di unificare e di chiarire, perchè attraggono l' attenzione dello studioso sui problemi reali ed eliminano quelli apparenti. Il mio corso di *lezioni di filosofia naturale,* tenuto nel 1902, ebbe appunto questo scopo.

Da quel momento s' incominciò a sentire sempre più l' importanza de'la dottrina dell' Energia, ossia dell' Energetica,

per la concezione generale dei fenomeni naturali. Ciò non ostante la maggior parte degli studiosi di filosofia e dei naturalisti filosofeggianti non restano un momento dal tentare di confutare, ancor oggi, questa Energetica; ed anzi il rinnovarsi di questi sforzi dimostra che ciascuno degli oppositori non ritiene mortali a bastanza le botte assestate dagli altri, e crede necessario di somministrarne di proprio a complemento dell' opera di distruzione. Però, più importante che questi tentativi, la cui origine è dovuta a false interpretazioni dei problemi, è la crescente diffusione che trovano tra i pionieri della scienza le idee fondamentali dell' Energetica. Ed è principalmente tra le scienze biologiche che si è incominciato a riconoscere l' efficacia delle applicazioni dell' Energetica alla soluzione dei problemi che le riguardano.

D'altra parte questo procedere vittorioso dell'Energetica va di pari passo con un' altra dottrina sorta nel campo filosofico, e che, sotto il nome di Pragmatismo o Umanismo, mira allo stesso scopo. Questo mette almeno in evidenza il fatto che l' Energetica risponde ad una vera esigenza dei tempi.

In ciò che ora verrò esponendo non si troverà certamente svolto dai fondamenti il concetto di Energetica; per questo si potrà ricorrere alle lezioni sopracitate. Io qui mi propongo solo di aiutare chi è già iniziato nell'argomento, a raccapezzarsi in queste nuove vie del pensiero. Un buon punto di partenza per abbattere le difficoltà che si presentano, io lo trovai nelle stesse obiezioni sopra accennate; ecco infatti un utile reale, quanto imprevisto, che io potei trarre da quegli stessi attacchi: essi mi svelarono i punti in cui i tradizionali modi di pensare ostacolano maggiormente l'adattamento alla nuova concezione.

Le grandi scoperte nel campo delle scienze naturali, portano inevitabilmente una rivoluzione profonda nel pensiero e nel concetto filosofico. Ne sono chiaro esempio le influenze che le scoperte di Galilei, di Keplero, di Newton, esercitarono sul pensiero filosofico del decimottavo e decimonono secolo. Questa influenza somiglia ad un processo di diffusione, per cui i primi ad esserne invasi sono i campi più vicini, mentre i più lontani ne restano esenti più lungo tempo. Ed è perciò che si manifesta una differenza, nel tempo, ben decisa e caratteristica, tra l' influenza esercitata dall' idea nuova nel campo di una disciplina speciale e quella che ne segue nel campo filosofico: in questo essa si manifesta talora solo quando

le nuove vedute sono già così radicate nelle discipline speciali da appartenere a quelle che più non si discutono, tanto ormai appariscono evidenti.

Questo effetto reciproco viene poi a complicarsi in modo speciale per la circostanza seguente. Il ricercatore specialista in una data scienza, di solito non s' indugia molto (eccezion fatta per tempi di intenso movimento filosofico) a discutere le basi delle vedute generali, o filosofiche, di cui egli si serve per connettere i singoli dati delle sue speculazioni; e ciò perchè anzitutto gli sembra che esse non abbiano per questi alcuna importanza. Così che il cultore di una data disciplina, non solo prende bello e fatto dalla filosofia contemporanea l' indirizzo che gli abbisogna, ma non si cura gran che di modificarlo tostochè l' evoluzione delle dottrine filosofiche stesse lo richieda. Egli resta così in arretrato in rapporto allo sviluppo filosofico, come del resto accade alla filosofia di fronte al progresso scientifico.

Doppia causa di indugio adunque nello svolgimento degli elementi filosofici delle singole discipline. Di questo indugio però non ci si accorge, come è naturale, nelle singole pubblicazioni scientifiche, ma solo nelle introduzioni dei trattati. Così avviene che le venerande *qualità primarie e secondarie* di John Locke si godano indisturbate nei trattati di fisica una quieta esistenza da pensionati filosofici. E per esempio, malgrado che la legge di Dalton dimostri che in una miscela di gas differenti ciascuno di essi conserva le sue proprietà ed il comportamento che lo caratterizza, come se si trovasse solo in quello spazio, se bene, in altre parole, si sappia che i gas si *compenetrano* effettivamente indisturbati e senza subire influenza reciproca alcuna, pure nessun trattatista tralascia di evocare nel primo capitolo della sua opera, quale principio fondamentale generalissimo, la *impenetrabilità della Materia.*

Occorre tener bene presenti queste curiose circostanze, se si vuol giudicare rettamente la posizione in cui si trova l' Energetica di fronte alle scienze speciali ed alla filosofia. La influenza decisiva della dottrina di Newton sulla gravitazione — alla quale si aggiunse verso la fine del XVIII secolo, anche in rapporto ai processi chimici, la legge della conservazione del peso — si esplicò nel concetto che la *Materia* fosse il varo supposto, dotato di peso e di massa, di tutti i fenomeni naturali. La scienza, prima d' allora, aveva, senza

tanti scrupoli messo, a fianco della materia dotata di peso, altre imponderabili, come la materia del fuoco, della elettricità, ecc. Lo stesso Lavoisier, il quale per primo aveva messo in evidenza la somma importanza dei rapporti ponderali per la interpretazione dei fenomeni chimici, lasciava tuttavia, forse in omaggio alla tradizione, un posto alla materia del calore e della luce nella sua tabella degli elementi chimici, quantunque egli sapesse che a nessuna delle due si poteva attribuire un peso sensibile. Finalmente nel XIX secolo scomparve completamente questo atavismo e si sviluppò il dualismo « *materia* e *forza* » il quale, mentre riconosceva alla prima la funzione di sostanza nel senso Aristotelico, assegnava alla forza il carattere di accidentalità. La materia veniva così ad essere considerata come il solo oggetto reale dei fenomeni, di modo che i cosidetti imponderabili: calore, luce, elettricità, vennero a trovarsi in una posizione falsa ed abbastanza curiosa.

La coscienza di un tale stato di cose si manifesta in modo evidente nella pubblicazione fondamentale di Julius Robert Mayer (1842) intitolata: « Osservazioni sulle forze della natura inanimata ». Mayer non sapeva capacitarsi che queste forze dovessero apparire e scomparire a lor talento, mentre solo alla morta, inerte materia si attribuiva il privilegio di una esistenza indefinita, ed egli cercò senz'altro se ci fosse stato modo di trovare, anche per questi imponderabili, una espressione, che gli permettesse di formulare una *legge della indistruttibilità:* « Noi troviamo in natura due serie di cause, « tra le quali, l'esperienza dimostra non essere possibile un « passaggio graduale. Ad una di esse appartengono quelle « cause cui son proprie ponderabilità ed impenetrabilità: « Materie; all'altra, quelle cui mancano queste due proprietà: « Forze, dette anche per la loro proprietà negativa, impon- « derabili. Le forze sono adunque obbietti indistruttibili, tras- « formabili, imponderabili ».

L'essenziale di questo enunciato, il quale contiene l'espressione immediata del pensiero di Mayer e da lui stesso per la prima volta reso pubblico, sta nel bisogno sentito di *unità*. Egli non poteva infatti decidersi a considerare quelle due serie di cause come grandezze di carattere assolutamente diverso — ciò del resto che al suo tempo si faceva generalmente — non ostante egli non sapesse trovare tra loro un

legame vero e proprio, e metteva sott'occhio le analogie intraviste con una evidenza che ancor oggi urta i naturalisti che si attengono alla vecchia maniera. Anche ai nostri tempi molti sono recalcitranti ad ammettere che la Forza, o per dirla senz'altro col nome più moderno e generalmente adottato, l'Energia, sia qualcosa di *oggettivo*, un ente a sè, e tuttora ci accade di leggere e di udir ripetere l'affermazione che se la Materia è veramente qualche cosa di reale, così non si può dire affatto dell'Energia, poichè essa non esiste se non nel pensiero. Queste affermazioni dimostrano del resto già più di quanto dovrebbero in realtà dimostrare, vale a dire: che nella mente dei suoi stessi sostenitori, l'Energia non è nemmeno qualche cosa di *pensato*, perchè se essi si fossero soffermati a riflettere sui suoi stessi rapporti verso il concetto di realtà, non sarebbero stati trascinati a questa conclusione.

È noto che lo stesso Mayer rese più difficile l'interpretazione del suo pensiero, per essersi messo in contradizione con la nomenclatura allora in uso. Non v'ha dubbio che egli era perfettamente in chiaro che la sua *forza* era, dalla meccanica contemporanea, chiamata *lavoro* (almeno in un caso speciale; in altro caso però anche *forza* e precisamente nell'espressione *forza viva*). A chi voleva fargli, assai ingiustamente, una colpa di ciò, egli rispondeva con una osservazione decisiva: « Per ciò che riguarda il problema della Forza, non dev'essere per noi questione di cercare che sorta di cosa sia una *forza*, ma più tosto quale cosa noi vogliamo chiamare col nome di *forza* ». Mettiamo adunque nel sopracitato concetto fissato da Mayer, il nome oggi usitato di *energia*, si ha: Le energie sono oggetti indistruttibili, trasformabili, imponderabili.

Quest'è infatti il concetto, che prevalse per più di mezzo secolo dopo la scoperta della legge della conservazione dell'energia. E qui si deve, in conseguenza delle vedute sopracitate sul concetto di forza, appoggiare il meno possibile sulla parola *oggetto*. Mentre la conservazione della materia (la quale in realtà non sussiste, perchè ciò che si conserva è solo il peso e la massa, mentre tutto il resto nella materia si trasforma) passa come qualcosa di naturale e di evidente, così che si vuol farne senz'altro una necessità del pensiero, la conservazione dell'energia invece apparisce come

qualche cosa di sorprendente e di strano, certo come qualcosa che richiama la nostra attenzione e la nostra maraviglia.

Ed è questo il punto in cui entra in scena l'Energetica moderna. Anzitutto, riannodandosi alle idee esposte da Mayer, occorre mettere in chiaro l'*oggettività, o realtà dell'Energia,* così che la vecchia e degna Materia non abbia da vergognarsi di una tale vicinanza, malgrado anche di quella sospetta imponderabilità. In secondo luogo dobbiamo sottoporre a un esame più accurato la premessa fatta dal Mayer, senz'appoggio di esatte ricerche, che tra Materia ed Energia esista una separazione assoluta senza trapassi. Ne risulta — diciamolo pure anticipatamente — la completa inversione dei rapporti precedentemente ammessi. Mentre l'*Energia* si afferma sempre più come realtà, la *Materia* deve rinunciare alle sue pretese e non le restano più altri diritti che quelli della tradizione. Non solo essa deve tollerare accanto a sè l'Energia, come già oggi richiedono i trattati di scienze naturali che seguono il progresso, ma deve cedere incondizionatamente il posto all'Energia, e come una sovrana spodestata ritirarsi con una corte di fautori del passato ad aspettare la sua completa dissoluzione.

Osserviamo però nel Mayer un fenomeno che, malgrado la sua stranezza, è fra i più generali nella psicologia degli scienziati: *Lo scopritore non va in fondo alla via ch'egli ha scoperta e iniziata;* lascia di regola nell'opera sua un avanzo di quelle opinioni false o infondate, che egli appunto s'era proposto di scalzare. Così abbiamo veduto che Lavoisier, malgrado la sua scoperta dell'importanza fondamentale del peso per la comprensione dei fenomeni chimici e specialmente per la definizione degli elementi, lasciava tuttavia un posto alla materia imponderabile della luce e del calore nella sua tabella degli elementi. Anche Copernico mentre sopprimeva la teoria degli epicicli per il movimento della terra rispetto al sole, affermando che la terra si muove ed il sole è immobile, pure per gli altri pianeti manteneva invece gli epicicli. Alla stessa maniera finalmente Mayer riconosce bensì che la ponderabilità non è carattere necessario della realtà delle cose, poichè constata delle *realtà imponderabili;* ma la sua critica non giunge a chiedere, se si debba veramente concedere alla ponderabilità una parte così importante come le dava la vecchia teoria. Egli le lasciò questa parte senza controllarne il diritto, e fu tratto così al suo dualismo.

L'energetica moderna si contraddistingue per ciò, che essa elimina anche questo dualismo e introduce come concetto primo generalissimo la sola energia. Tutti i fenomeni si fanno risalire alle qualità e ai rapporti dell'energia, e ciò che è essenziale, la stessa materia — in quanto veramente un tale concetto si dimostri opportuno — è da definirsi su base energetica.

Se si domanda perchè e con quale scopo si possa, o si debba fare questa trasposizione del significato dei due concetti, si può rispondere che il concetto di energia è, come dimostra l'esperienza, *più ampio* di quello di materia. Riconosciuto questo, la discussione non è più possibile. Non si può definire il concetto « uomo » mediante il concetto « negro »; bensì viceversa. Il concetto di luce, o di elettricità, non si può definire mediante il concetto di materia, poichè tutti e due si ritengono obbietti immateriali. Invece si possono definire mediante il concetto di energia, poichè sono specie, o fattori, dell'energia. Donde risulta che veramente il concetto di energia è *più ampio* che quello di materia. Vedremo più tardi, come anche quest'ultima permetta una definizione energetica, la quale è anzi l'unica definizione chiara che si possa dare della materia.

Del resto, sulle prime la parte nuova nel pensiero di Mayer apparve tanto nuova, che nessuno si diè pena di quel residuo della vecchia concezione materialistica. Anzi l'opera dei contemporanei che dopo Mayer e con lui furono i primi a capire l'immensa portata del nuovo pensiero, mirava a concatenare il più strettamente possibile la nuova concezione con i vecchi e tradizionali modi di pensare. Joule e Helmholtz sostennero entrambi la teoria meccanica di tutti i fenomeni naturali; essi vedevano nelle trasformazioni dell'Energia soltanto cambiamenti di movimento degli atomi, e specialmente Helmholtz cercò una spiegazione per la legge della conservazione dell'energia nell'ipotesi, che tra questi atomi agiscano esclusivamente forze centrali, dipendenti solo dalla distanza.

Nella meccanica teoretica era infatti noto un caso speciale della legge di conservazione, nel *principio della conservazione della forza viva,* il quale si enunciava così, che quando un corpo celeste giunge nella sua corsa ad una certa distanza dal corpo centrale, esso possiede sempre la stessa velocità e

quindi la stessa forza viva o energia di movimento, indipendentemente dalla direzione del suo moto e dalla posizione del punto considerato, o in altre parole, se si imagina intorno al corpo centrale come centro una sfera, il corpo celeste possiede un dato valore di forza viva in qualunque punto si trovi di questa superficie sferica. Questa forza viva è tanto più piccola, quanto maggiore è il raggio della sfera, ed era nota anche la funzione della distanza (il potenziale), che dà con la forza viva una differenza costante (od una somma costante, a seconda della definizione della funzione suddetta).

Se il potenziale si definisce così, che la sua *somma* con la forza viva sia costante, allora si ottiene, com'è noto, il caso speciale della legge della conservazione dell'energia, nel quale entrano in questione e si trasfomano l'una nell'altra solo le due forme di energia: forza viva o energia cinetica e energia di posizione o di distanza. Questo comportamento deriva dal fatto, che in questi movimenti la quantità di energia che passa ad altre forme non è misurabile. Specialmente nei fenomeni terrestri la inevitabile parziale trasformazione in calore è così minima che, sperimentalmente non si prende affatto in considerazione: la sua presenza si ammette basandosi sul principio di continuità, ma non è mai stata constatata con misure immediate nè mediate; se esiste, essa non entra nei limiti dei nostri odierni mezzi di misura.

Quella qualità generale del nostro raziocinio, per la quale noi interpretiamo i nuovi fatti in modo possibilmente analogo ai fatti già conosciuti, suggeriva di considerare questo rapporto, che era ben noto e grazie alla sua semplicità facilmente comprensibile, come norma o tipo per tutti gli altri modi di trasformazione dell'energia. Questo era possibile soltanto ammettendo che non esistano al mondo altre specie di energia all'infuori di quelle che si vedevano in azione nei fenomeni astronomici descritti. Ma invero il calore, la luce, l'elettricità e via dicendo, erano forme di energia che non si potevano senz'altro interpretare come energia di movimento o di posizione. Non restava che arrischiare l'ipotesi, che anche in questi casi agissero le due suddette forme di energia, ma che i corrispondenti movimenti di attrazione avvenissero fra gli atomi e fossero quindi invisibili.

Con questa ipotesi si dava ampia soddisfazione a quel bisogno psicologico che or ora abbiamo rilevato. Poichè

a questo modo il concetto di energia veniva semplicemente a far parte della concezione meccanica dei fenomeni naturali allora prevalente, secondo la quale tutto ciò che avviene si fonda in ultima istanza su processi meccanici degli atomi. È vero che già Leibniz aveva sollevato contro a ciò la fondata obiezione, che a questa guisa i fenomeni psichici rimangono insoluti. Poichè, se anche in qualche modo noi potessimo vedere tutti i movimenti dei presunti atomi del cervello che accompagnano un dato processo mentale, noi vedremmo solamente delle *molecole in moto,* ma non il corrispondente *pensiero,* nè il suo formarsi sarebbe spiegato più di prima. Pure il valore di questa obiezione fu trascurato, finchè nella scorsa generazione Dubois Reymond la risollevò e vide in essa un ostacolo insuperabile alla teoria meccanica dei fenomeni naturali. Egli era però così convinto dell'esattezza di questa teoria, che non potè giungere a dichiararla insufficiente, ma credette invece di dover senz'altro ammettere qui l'esistenza di una barriera insuperabile alla intelligenza umana. Questo atteggiamento caratterizza il quasi incondizionato dominio della concezione meccanica dei fenomeni naturali, per lo meno tra i naturalisti, al tempo della scoperta della legge dell'energia, e dà una spiegazione psicologica di quella arbitraria restrizione della legge della conservazione dell'energia a cui ho or ora accennato.

Un'altra conseguenza della medesima teoria, che conviene menzionare a questo punto, è la distinzione dell'energia in *cinetica* e *potenziale.* Evidentemente questa distinzione deriva dallo stesso concetto, che cioè quei fenomeni astronomici formino il tipo di tutti i fenomeni naturali. Quanto però questa suddivisione sia ipotetica, ce lo dimostra massimamente il fatto, che ad es. per la corrente elettrica si disputano il campo le due opinioni, se essa costituisca energia cinetica o potenziale. Per il calore si ammette generalmente, in base all'ipotesi cinetica, la natura cinetica; ma se chiediamo un carattere oggettivo, che ci serva a distinguere in questi casi energia cinetica da energia potenziale, non otteniamo risposta. Anzi, a dire il vero, non mi consta che alcuno abbia mai pensato a farsi una tale domanda, e men che meno poi a rispondervi. La particolare nomenclatura data da Rankine vuol far credere anzi che soltanto l'energia cinetica abbia pieno diritto di sussistere, e che già l'energia di posizione non sia vera energia ma

qualche cosa che solo in date condizioni può diventar tale. Qui entra in campo ancora metodicamente l'oscuro concetto di calore *latente.* Se pensiamo, che ad esso si era ricorso per necessità, essendo la legge di conservazione dell'energia del tutto ignota alla fine del secolo decimottavo quando Black esplicò questo concetto, e che l'espressione *calore latente* fu coniata per salvare, almeno formalmente, la teoria che il calore non potesse semplicemente sparire del tutto (come sembra accadere nella fusione e nell'evaporazione), se pensiamo a ciò, vedremo che ci troviamo di fronte a una strana situazione.

Gli espedienti, ai quali aveva dovuto ricorrere lo studioso di altri tempi perchè non conosceva la legge dell'energia, si conservano, sia pure non di proposito, quando la scoperta della legge dell'energia li ha resi superflui; poichè non vi ha ora alcuna difficoltà ad ammettere che il calore deve scomparire, quando una corrispondente quantità di energia si è consumata per il passaggio da uno stato d'aggregazione ad un altro (fusione o evaporazione).

L'errore di pensiero, che si manifesta così nell'espressione *energia potenziale,* è tutt'altro che innocuo. Esso impedisce che si considerino le altre forme di energie come altrettanto vere che l'energia di movimento. Ciò deriva evidentemente da un fatto del tutto esteriore: che il moto di un corpo dotato di energia cinetica si può *vedere,* e quindi noi possiamo accertarci della sua presenza senza bisogno di altre prove. Ma la presenza dell'energia di calore si può *sentire,* quella della luce si può *vedere,* e così ne viene che ogni energia può agire direttamente o indirettamente su uno dei nostri apparati sensori e quindi svelare la sua presenza. E invero un'energia, che in nessun modo potesse agire sui nostri organi sensori, ci rimarrebbe ignota e non potrebbe mai far parte del nostro mondo sensibile. L'energia cinetica non è dunque per nulla più attuale o più reale delle altre forme di energia, e ogni energia che si trasforma in un'altra, *è potenziale di fronte a questa, mentre quest'ultima diventa attuale.* Questo è l'unico senso che si può dare a queste espressioni; tuttavia la scienza non ha ancora provato il bisogno di designare questo rapporto con una sola breve parola, ed è quindi meglio lasciar cadere del tutto quei nomi che potrebbero indurci in errore.

Queste considerazioni ci portano direttamente alla que-

stione generica del *reale*. Se tentiamo di definire con ogni prudenza scientifica ed evitando qualunque sottintesa presunzione, il nostro rapporto col *mondo*, potremo dire che: con l'inizio della nostra vita cosciente ci troviamo di fronte ad una molteplicità di avvenimenti, fra i quali ravvisiamo solo un nesso assai debole. Ciò si esprime massimamente nel fatto, che noi possiamo *prevedere* assai poco di ciò che avverrà nel futuro. Poichè la previsione è la vera e propria caratteristica della nostra intelligenza; la misura in cui possiamo esercitare tale previsione, l'estensione di tempo e la molteplicità degli avvenimenti preveduti danno appunto la misura diretta della nostra intelligenza.

Il neonato non prevede nulla, se non che reagendo a certi stimoli dell'olfatto e del senso troverà il cibo (e qui rimane in sospeso se si tratti già di azione cosciente), e si trova quindi in un gradino assai basso dell'intelligenza. Ma anche il gradino più alto di questa facoltà, come è rappresentato ad es. da un illustre scienziato, uomo di stato o industriale, è caratterizzato appunto da ciò, che quest'uomo vede più e più in là dei suoi avversari o concorrenti.

Le cose che possiamo prevedere, le diciamo note; esse ci sono ben famigliari, e i loro previsti nessi di luogo e di tempo ci riescono *comprensibili*. A tali cose, in quanto riguardano impressioni dei sensi, diamo anche il nome di cose *reali*. Questa espressione la usiamo quando si tratta di oggetti del così detto mondo esteriore; la realtà dei nostri pensieri ci sembra così naturale, che neppure vi riflettiamo: essi formano, com'è noto, la parte primaria nelle vicende della nostra vita cosciente. Sogni, allucinazioni e simili, noi li diciamo *irreali* come cose esteriori, perchè non seguono le regole che abbiamo fissato sperimentalmente per le cose esteriori *reali*, vale a dire perchè le previsioni che applichiamo ad essi basandoci nella nostra stessa esperienza delle cose esteriori, non sogliono avversarsi. Ma queste cose entrano nel campo della realtà non appena si mostri una regolarità o prevedibilità: così i *fenomeni ipnotici* furono a suo tempo ritenuti immaginari e scartati come irreali; ora invece, da quando son note le condizioni che li producono e le date particolarità che regolarmente li accompagnano, si attribuisce loro il carattere di realtà. Qui è da osservare che il termine di *predire* non si riferisce esclusivamente a parte di un fenomeno comples-

sivo susseguentisi *nel tempo,* ma anche a parti di un tal fenomeno ordinate *l'una accanto all'altra nello spazio.* Siccome non possiamo percepire contemporaneamente tutte queste parti, ma esse si presentano successivamente alla nostra esperienza, ogni *coesistenza nello spazio* diventa anche *successione nel tempo.* Ma nello spazio c'è questo di particolare, che l'ordine col quale percezioni si susseguono è arbitrario per quanto sia sempre rispettata una certa qual regolarità.

L'energia di posizione o di distanza così lumeggiata non può dunque non essere reale. Quando noi in tesi generale sappiamo che un corpo, il quale si trova al disopra della superficie terrestre, è capace di fornire una data quantità di lavoro avvicinandosi a questa superficie, con la medesima sicurezza dalla vista di un corpo sollevato noi deduciamo immediatamente la presenza di energia, come quando vediamo un corpo in moto. Quindi anche se consideriamo il concetto della realtà da un punto di vista più intimo e generale, la distinzione fra energia attiva e potenziale appare come un errore insostenibile e non scevro di pericoli.

Vediamo ora su quali basi poggi la *realtà dell'energia* medesima. Mayer, come più sopra fu già accennato, la sostenne espressamente, senza trovare però troppo consenso.

Per quanto dopo un certo tempo i più fossero disposti a riconoscere la giustezza e l'importanza della legge della conservazione della energia, pure scarso fu l'interessamento per le considerazioni generali dalle quali il Mayer fu indotto a generalizzare la sua tesi. Più sopra abbiamo visto che è stato appunto il bisogno ch'egli sentiva di porre in rilievo la realtà delle forze, quello che lo condusse a concezioni così fertili. Quale contrasto con ciò di trovare ancor oggi persino negli autori che sostengono l'importanza centrale del concetto di energia, una certa riluttanza a riconoscere bene o male l'energia, come una sostanza ed a concederle almeno lo stesso grado di realtà che alla materia! Accade di ritrovare sempre di nuovo la versione che l'energia non è che una cosa astratta, una funzione matematica la quale avrebbe questo di particolare, di mantenere in tutte le circostanze il proprio valore. Qui si cade in un equivoco, che viene facilitato da una particolarità propria a tutte le lingue europee e dal quale bisogna guardarsi, poichè la sua frequenza dimostra com'è facile commetterlo. Esso dipende dall'abitudine invalsa

nel linguaggio di *designare con la stessa parola il concetto generale e la cosa concreta che a questo concetto corrisponde.*

Col nome di *musica* comprendiamo ad es. tanto l'arte generale di combinare i vari suoni con effetto estetico, quanto ogni particolare esecuzione pratica di questo processo. Così chiamiamo con nome generale *energia* quella funzione di grandezze misurabili, che ha la qualità di conservarsi in tutte le circostanze, come pure ogni singolo valore di questa funzione osservato in natura. Evidentemente coloro che contestano all'energia un'esistenza reale, hanno presente il concetto generale, nel quale, appunto nell'interesse della sua universalità, si tralascia come superflua ogni definizione specifica. Ma a costoro sfugge che la parola energia significa ad un tempo ogni realizzazione concreta della funzione generale. Se esiste una cosa che possegga un determinato valore numerico, che può essere espresso in cifre non mutabili per nessun processo conosciuto essa corrisponde in tutto e tutto ai postulati cui deve soddisfare una realtà. In special modo si rende possibile di predire che è lecito porre per essa lo stesso valore prima e dopo un qualunque processo. Non occorre dire quanta importanza scientifica e tecnica abbia questa prevedibilità, poichè su di essa si basa l'immenso progresso ottenuto con la scoperta della legge della conservazione dell'energia.

Infine la realtà dell'energia risulta con piena evidenza dal fatto, che essa possiede un valore commerciale. Ciò appare soprattutto nel caso dell'energia *elettrica*. Qui il consumatore adopera e paga unicamente l'energia, mentre tutte le parti *materiali* degli impianti elettrici non vengono nè diminuite nè alterate dal consumo.

L'equivoco or ora chiarito trova una certa attenuante in ciò, che invero il concetto generale di energia è estremamente largo ed esteso, e consente una varietà quasi illimitata per ciò che riguarda i suoi caratteri particolari. Non saprei infatti indicare altre caratteristiche rispondenti in ugual modo a tutte le varie forme di energia, se non che l'energia è una grandezza essenzialmente positiva, avente il carattere di grandezza nel senso più ristretto, che si può sommare senza limitazioni e che conserva la sua quantità attraverso tutte le trasformazioni di cui è suscettibile. In questa estensione si volle vedere un lato debole o a dirittura insostenibile del concetto di energia, e vi si ricorse per

combattere l'energica. Ma basta riflettere un solo momento sulla questione per vedere che appunto questa qualità incriminata è necessaria allo scopo al quale tendiamo. Infatti, di che cosa si tratta? Di trovare un concetto che possa essere applicato alla maggior cerchia di fenomeni, e che ad un tempo definisca il più possibile ogni singolo caso. La teoria meccanica cercava questo concetto nel *moto,* ma doveva ricorrere in più ai concetti di *massa* e di *forza* per render possibile la rappresentazione dei fenomeni quali sono in realtà. E non ne risultava nessuna previsione possibile nei fenomeni non meccanici (o criptomeccanici secondo quell'ipotesi). *Nulla di sicuro* infatti si deduceva dall'ipotesi meccanica, per sostenere che il calore corrisponda a moto degli atomi. Poichè l'ipotesi cinetica sullo stato dei gas, svolta dal Bernouilli, s'appoggia su una quantità di altre ipotesi; ne sia il fatto, ch'essa non si può applicare in alcun modo allo stato liquido e solido. Però l'ipotesi meccanica non si spiega in modo immediato di che genere sieno queste forze.

E siccome questi ipotetici movimenti dovevano pur avere una qualche grandezza e direzione, così ne derivava una quantità di questioni di nessun significato pratico, ossia di *problemi apparenti,* per usare una felice espressione di Mach, vale a dire problemi di natura così curiosa, che anche se una potenza soprannaturale intervenisse a rivelarcene la soluzione, noi non sapremmo trarne partito alcuno, poichè essa non si riferirebbe a grandezze che entrano nei limiti delle nostre osservazioni.

Al contrario appunto la straordinaria universalità del concetto di energia fa sì, che tali problemi apparenti non sorgano mai. Se in un sistema si manifesta del calore, certo noi non possiamo in base al principio dell'energia dir nulla dell'*intima essenza* di questo fenomeno, ma possiamo in antecedenza sapere, che parallelamente ad ogni alterazione di questo stato termico si avranno corrispondenti alterazioni di altre energie limitrofe, il cui importo ci è dato da quello dell'alterazione di calore. Inoltre da quella speciale qualità dell'energia del calore, che è detta *temperatura,* si possono trarre altre maggiori e molto particolari previsioni; sempre però è questione di cose misurabili, mai dell' ignota *essenza delle cose.*

Questo ci concedono gli avversari, ma affermano che

appunto in ciò sta l'imperfezione dell'energetica perchè almeno le concezioni meccaniche tentano di penetrare questo arcano, sia pure reggendosi su delle ipotesi. Ma che logica è questa? Sarebbe come se un commerciante trascurando il calcolo oggettivo delle sue entrate ed uscite, facesse invece dei conti ipotetici, a quanto ammonterebbe il suo capitale in date altre circostanze. Anche se le sue previsioni fossero verosimili, pure certo un tal calcolo non avrebbe fondamento nè valore commerciale. Sarà giusto che egli pensi alle possibilità e alle probabilità quando voglia chiarirsi del possibile andamento di un affare incerto, precisamente come lo scienziato suole mettere sulla bilancia, valutandole secondo la loro probabilità, le condizioni del campo che si propone di investigare, per orientarsi in quale direzione debba avviare le sue ricerche. Ma il commerciante serio, come il serio scienziato, estenderà le sue previsioni solo a quei fatti, ch'egli può e vuole sottoporre in seguito ad esame, e che di conseguenza devono avere per soggetto esclusivamente cose misurabili e controllabili. Non appena egli introduce nel suo calcolo fattori inaccessibili, termina il lavoro serio e positivo.

Bisogna dunque fare un'esatta distinzione fra supposizioni di rapporti sconosciuti, emesse in via di esperimento, fra grandezze accessibili, e ipotesi sulle relazioni fra grandezze solo imaginate e quindi inaccessibili. Queste ultime sono da respingersi, mentre le prime formano parte indispensabile della ricerca. Tutte e due, benchè radicalmente diverse, sono designate nella terminologia scientifica con lo stesso nome di *ipotesi*. Io proporrei di lasciare il nome di ipotesi alle supposizioni non controllabili, poichè di fatto quasi tutte le ipotesi della scienza moderna sono di questo genere. Le altre, che a guisa di impalcatura, non hanno altro scopo che di servire di base alle ricerche vere e proprie ed alle quali nel corso del lavoro si sostituiscono all'occorrenza altre più adatte, finchè si arrivi a trovare veramente la relazione cercata, queste supposizioni fatte a scopo di ricerca positiva, io le chiamo *prototesi*. Una prototesi si fa dunque al principio di un lavoro di ricerca, ed essa *scompare* alla fine, quando il lavoro conduca ad un risultato positivo, mentre all'ipotesi si ricorre quando *non si sa in qual modo andare innanzi colla ricerca*. Da ciò ne viene, che nell'esposizione dei lavori scientifici non è fatta per lo più neppur menzione delle varie prototesi usate dal ricercatore; poichè

è invalso l'uso di mettere in evidenza solo quei presupposti, che a lavoro finito si sono dimostrati giusti o almeno convenienti. Le altre prototesi si passano sotto silenzio e si sopprimono, come si sopprimono le armature d'un edificio quando la sua costruzione è terminata. Solo ben di rado, come ad es. nelle relazioni di Keplero sulle sue ricerche astronomiche, troviamo qualche accenno a prototesi fallite. Le ipotesi nel senso più ristretto occupano invece assai largo posto nella letteratura scientifica. Siccome si riferiscono a cose scientificamente inaccessibili, non si può provarne nè la verità nè la falsità, e quindi nascono intorno ad esse interminabili discussioni pro e contro; e siccome inoltre i problemi ad esse connessi sono problemi apparenti, cioè non si riferiscono per nulla a cose dimostrabili, così essi rimangono insolubili, e si trascinano senza che si possa liberarsene. Questo ci riuscirà solo quando avremo riconosciuto che si tratta unicamente di problemi apparenti.

È quindi molto importante avere un mezzo per distinguere le ipotesi del senso stretto della parola ed i problemi apparenti. Un tal carattere distintivo risulta già dalle cose dette, almeno per quanto riguarda le scienze esatte. Se in una formola, che enuncia un qualche rapporto fisico, si trovano espressioni o indicazioni di grandezze, che non si possano osservare nè misurare, e alle quali non si può quindi sostituire alcun determinato valore sperimentalmente dedotto, *si tratta di un' ipotesi.* Poichè è compito delle scienze esatte determinare il reciproco rapporto di *grandezze* definibili e misurabili, o, in altre parole, di trovare le forme o funzioni matematiche per le quali questi termini sono fra loro connessi, così che uno qualunque di essi si possa trovare quando siano dati gli altri. Per constatare sperimentalmente un tale rapporto di funzioni, è necessario di misurare ad una ad una *tutte* le grandezze mutabili o costanti, che entrano in una siffatta equazione; nè v'è altro modo per constatare se il rapporto di funzioni ammesso dalla prototesi sussista o no. Se ci si imbatte anche in un' unica grandezza che sfugga alla misurazione, il rapporto supposto non si può considerare come dimostrato. Una tale equazione inoltre non ha scopo, perchè esprimendo il rapporto di una grandezza che non è accessibile, essa c'informa di una cosa che non ha influenza nè importanza alcuna per la scienza e la vita. Poichè dire che

una cosa è inaccessibile significa in altre parole che nulla da essa dipende; se alcunchè ne dipendesse, questa dipendenza sarebbe appunto la via per chiarirci su questa cosa, ed essa sarebbe accessibile.

Questa ricetta per scoprire i problemi apparenti si riferisce però soltanto a rapporti di qualità *misurabili* che si possono rappresentare con equazioni matematiche. Solo recentemente la matematica ha scoperto che oltre alle *grandezze* vi sono anche altre cose più generali, le quali si possono trattare matematicamente, ma la relativa tecnica numerica non è ancora abbastanza sviluppata per l'uso comune. Così dobbiamo cercar di risolvere col mezzo imperfetto della parola il resto del nostro compito, di distinguere cioè in modo generale i problemi apparenti. Ci apre la via un' osservazione fatta or ora: quando la soluzione di un problema non muta per nulla il nostro modo di concepire rapporti di fatto, questo problema è soltanto apparente. La ricetta è dunque questa: si pensi il problema risolto, accettando una qualunque delle risposte possibili, e si esamini poi quale cambiamento ne derivi al nostro modo di vedere. Se non ne risulta alcuno, vuol dire che il problema è apparente.

Per provare l'applicazione di questo precetto, poniamoci p. es. la domanda: *ha avuto il mondo un principio nel tempo oppure sussiste dall'eternità?* Ammettiamo a mo' d'esempio, ch'esso sussista dall'eternità e chiediamoci: che cosa si muta nel mio modo di vedere per questa nozione? Io trovo, per conto mio almeno, che *nulla* si muta per ciò, come nulla muterebbe ammettendo un principio nel tempo. Così devo dire, che se anche in qualche modo apprendessi con sicurezza quale delle due possibilità è rispondente al vero, ciò mi sarebbe indifferente, e che mi trovo di fronte a un problema apparente.

L'importanza di questo modo di procedere risulta dalla risposta alla domanda, che cosa chiamiamo *esatto* o *vero*. La risposta è: ciò che ci permette previsioni rispondenti al vero. Una cosa, che non ci permette nessuna previsione, non c' interessa oggettivamente per nulla, ed è inutile occuparsene.

Se ora applichiamo queste considerazioni all'energetica, vedremo subito che la posizione delle questioni energetiche di fronte ai fenomeni è tale da preservarci sempre con buon esito dai problemi apparenti. È un fatto ormai ammesso senza

obbiezioni, che tra i vari campi dei fenomeni fisici non corre altro rapporto generale che il rapporto di energia. Vale a dire che qualunque cosa accada nel campo fisico (fisico in senso lato, compresi quindi i fenomeni chimici e fisiologici), noi possiamo sempre stabilire una equazione fra le energie scomparse e le nuove che entrano in azione. Non v'ha nessun'altra grandezza fisica che comporti una applicazione così estesa. Siccome poi questa massima, data la generale misurabilità e calcolabilità dell'energia si riferisce sempre ad oggetti misurabili e calcolabili, così in tutte le applicazioni della legge della conservazione dell'energia si tratta sempre di problemi reali e mai di problemi apparenti. Si danno dei casi, in cui l'esatta misurazione delle grandezze d'energia di cui si tratta, presenta notevoli difficoltà, e nei quali perciò non si giunge che a una grossolana approssimazione; tuttavia essi non possono infirmare il principio generale. Così pure nell'applicazione della legge di conservazione, in molti casi non tutti i termini dell'equazione si possono misurare; questi casi li dobbiamo considerare come delle prototesi. Vale a dire: dove non possiamo constatare, misurando tutti i singoli termini, la giustezza della legge di conservazione, noi ammettiamo che la legge risponda alla realtà, ma ci riserbiamo di sottoporla ad esame non appena ne sia data la possibilità.

Un buon esempio di questa specie di progresso scientifico ci è dato dalla misura dello *sviluppo fisiologico di calore* negli animali e nell'uomo. Le vecchie misurazioni di Despretz nella prima metà del secolo decimonono, diedero risultati che si trovavano in contraddizione coi concetti allora in voga; ma in seguito l'esame più accurato di questo problema condusse tanto Roberto Mayer quanto Helmholtz alla scoperta della legge della conservazione dell'energia. Infine ai nostri giorni i mezzi di misurazione furono perfezionati così che si giunse a dimostrare la validità della legge fino al limite d'esattezza di 1:1000 anche per la combustione fisiologica (compreso il lavoro meccanico e psichico). Finchè queste ultime misurazioni non furono note, la validità della legge di conservazione per la combustione fisiologica era una prototesi, riferentesi a cose che in massima erano misurabili, quantunque l'effettuazione tecnica delle misurazioni presentasse difficoltà tali, che non si osava affrontarle. Ma invece si tratta di una verità scientifica, che però mantiene una possibilità d'errore di 1:1000.

Ammettere che la legge di conservazione sia valida anche al di là di questo limite, è fare una prototesi, che potrà forse in avvenire esser sottoposta ad esame con mezzi di misurazione più perfetti.

Per spiegarsi, come il concetto d'energia malgrado la sua grande generalità sia capace di esprimere l'infinita varietà dei fenomeni, basta pensare che vi sono numerosissime *forme* diverse di energia. Le loro qualità rispondono tutte alla definizione data più sopra per quanto riguarda il carattere di grandezza, la natura positiva e la legge di conservazione; contengono però in più accanto a queste delle altre particolarità determinanti o qualità sulle quali si basa la loro diversità. Così ad es. lo spiccato simmetrico dualismo dell'energia *elettrica* e *magnetica* non appare per nulla nel *calore*, che invece è determinato perfettamente da un numero solo, quando sia data l'unità. L'energia cinetica ha una *direzione nello spazio*, mentre l'energia di volume agisce in ogni luogo e in tutte le direzioni, dove sia possibile un cambiamento di volume. Siccome il concetto generale di energia non enuncia nulla nei rapporti di spazio e di tempo, questi restano aperti a determinazioni più ristrette, e le diversità possibili in questi campi danno luogo alle singole diverse specie di energia.

Così cade anche l'obbiezione ripetutamente sollevata, che le forme di energie siano tanto numerose, anche tenendo conto seriamente di ulteriori forme di energia non ancora conosciute. Se l'energia deve essere un concetto che serva a rappresentare i fenomeni, la molteplicità di questi deve potersi rappresentare con una corrispondente molteplicità nel concetto. Infatti ogni vera trattazione scientifica consiste in ciò, che alla molteplicità del campo da esplorare corrisponda un'altra schematica molteplicità di segni (matematici o verbali) che esprimano il corrispondente rapporto funzionale. L'enorme importanza di un tale linguaggio scientifico simbolico si rivela forse con la massima evidenza nelle formole chimiche, che contengono una parte così rilevante delle nozioni generali che la scienza ha potuto procurarsi sui fenomeni chimici. Come nessuno pensa a rimproverare alla chimica di avere ottanta elementi, poichè non è già in suo potere di stabilirne un numero arbitrario, ma è obbligo suo di riconoscere come elemento ogni sostanza che corrisponda ai prestabiliti caratteri generali; così anche l'energetica non può stabilire arbitrariamente il numero

delle forme d'energia ma deve registrarne con cura le varietà esistenti e porre in evidenza le caratteristiche di ogni singola specie. La legge generale della trasformazione collega secondo i principii dati ed in base all'esperienza, tutte queste molteplici forme.

Altro particolare essenziale in queste varietà è la generale scomponibilità delle energie in due fattori di carattere generale. Ogni specie di energia possiede anzitutto un fattore d'*intensità*, che non è semplicemente una grandezza, cioè non si può sommare senza restrizione, e in secondo luogo un fattore di *capacità* o di *quantità*, che si può sommare senza limitazione, e che quindi è una grandezza nello stretto senso della parola. Il mezzo più semplice per rappresentarci questa fondamentale differenza, è di mettere a contatto fisico due valori uguali di una data specie. Due intensità uguali poste a contatto rimangono *invariate*, due capacità uguali invece danno sommandosi l'importo *doppio*. Se ad es. si stabilisce il contatto fra due corpi di ugual temperatura o di ugual potenziale elettrico, essi non subiscono nessuna alterazione e la temperatura, o rispettivamente il potenziale, e lo stesso sia prima che dopo. Al contrario due uguali masse, o entropie, o quantità elettriche e via dicendo, poste a contatto si sommano raddoppiando il loro valore. Le prime dunque sono intensità, queste ultime capacità.

Questi fattori dell'energia portano così una nuova molteplicità nel concetto d'energia, concetto che serve ad esprimere importanti rapporti generali, indipendenti dalla legge di conservazione. Così ad esempio una data quantità d'energia termica è sempre equivalente ad una determinata quantità d'energia elettrica, qualunque sia la sua temperatura; ogniqualvolta si trasformi l'una nell'altra si ottiene lo stesso valore. Ciò caratterizza l'indipendenza della legge di conservazione dalla varia grandezza dell'intensità; indipendenza che si estende anche alla grandezza della capacità, come già si dimostra dal fatto che il prodotto dell'una per l'altra dà il valore numerico dell'energia. Al contrario i valori d'intensità hanno importanza decisiva nella questione, *se* in un dato caso avverrà una trasformazione d'energia, e *in qual misura*.

Più generalmente note sono queste relazioni nel calore; si sa che una data quantità di calore si può trasformare in

altre forme di energia solo in quanto sussista una differenza di temperatura. La parte trasformabile è uguale al rapporto della differenza di temperatura disponibile con la temperatura assoluta di trasformazione. Ma anche per tutte le altre forme di energia vale lo stesso principio. La matita che tengo in mano, possiede in grazia del suo moto attraverso lo spazio, moto al quale essa partecipa insieme alla terra e a tutto ciò che su questa si trova, una energia cinetica che supera di molto quella di una palla da fucile; essa potrebbe produrre incredibili devastazioni, se la sua energia cinetica si potesse trasportare su altri corpi. Ma questo non è possibile che quando vi sieno differenze di velocità, e quindi l'enorme velocità, ch'essa possiede rispetto al sistema solare non ha nessun valore sulla terra.

La prima legge fondamentale dell'energetica dunque, cioè la legge che l'energia si trasforma mantenendo costante il suo valore numerico, fornisce un'equazione per tutti i casi in cui un'energia si trasformi in un'altra; mentre la legge generale che regola i rapporti d'intensità dell'energia, risponde alla domanda, se e quando avverrà una trasformazione delle energie esistenti. Siccome due intensità uguali non influiscono l'una sull'altra (in realtà questo fatto definisce l'uguaglianza delle intensità), ogni trasformazione di energia presuppone differenza d'intensità. Siccome d'altra parte tutto ciò che avviene si può designare come trasformazione di una determinata forma d'energia, così *il sussistere di differenze d'intensità è condizione generale di ogni divenire.* [1]

Quando una tale differenza sussiste, il valore del « fatto avvenire », vale a dire l'importo dell'energia trasformata è proporzionale alla differenza d'intensità e quanto al resto dipende soltanto dalle energie in questioni e dai loro fattori. Il complesso di questi rapporti è esposto sinteticamente nella seconda legge capitale dell'energetica, di cui la parte relativa al calore fu già scoperta nel 1824 da Sadi Carnot. Essa si può esprimere in modo intuitivo se anche non esauriente, riferendosi a quanto dice Clausius, in questa forma: *energia*

[1] Questa condizione è bensì indispensabile, non però sufficiente, perchè possono sussistere differenze d'intensità *compensate*, senza che nulla avvenga. Anche questi casi seguono certe regolarità, e se non ne trattiamo in particolare è per non complicare senza necessità l'esposizione.

in quiete non si trasforma spontaneamente. Qui energia in quiete significa energia che non contiene differenze d' intensità, e l' impulso che la trasforma, è il subentrare di nuove differenze d' intensità nel sistema considerato. Più generale è la forma: *affinchè qualcosa avvenga, devono sussistere differenze non compensate d' intensità,* e ciò che avviene è proporzionale a queste differenze.

Ci si presenta spontanea la domanda, quale parte abbiano i *fattori di capacità* dell' energia nella nostra rappresentazione energetica della natura. Ad esse spetta essenzialmente la funzione, che la scienza con le sue cognizioni imperfette attribuiva prima alla materia. Se teniamo conto che massa, peso e volume sono fattori di capacità delle corrispondenti specie d' energia, ravvisiamo in questi fattori le vecchie qualità *primarie della materia.* Le qualità *secondarie* si contrassegnano pure come grandezze di capacità, solo che non hanno fra loro un così stretto rapporto nello spazio come le suddette.

La circostanza che le corrispondenti forme d' energia, cioè energia di volume, di gravitazione e di moto, si trovano sempre unite nello spazio, condusse al concetto di materia. Siccome però in uno qualunque di tali sistemi, lo stesso valore di questa energia è variabile, fu necessario, per esprimere questa variabilità, ammettere per quelle qualità variabili un substrato senza qualità sue proprie e perciò invariabile. Così ebbe origine un non senso logico, quello cioè di rappresentarsi una materia come la s' intende oggi, che serva di base ai singoli obbietti ma non abbia nessuna qualità propria per la quale si possa riconoscere e constatare.

Per quanto però sia chiaro, che il concetto di materia non è sufficiente a rappresentare le condizioni e i rapporti degli oggetti ponderabili, resta ancora a spiegarsi come mai quelle tre forme di energia si trovino sempre unite nello stesso spazio. Ciò si chiarisce esaminando come si comporterebbe un oggetto al quale una d' esse venisse a mancare. Se mancasse l' energia di volume, l' oggetto non occuperebbe spazio, dunque non potrebbe essere percepito nè in nessuna guisa maneggiato da noi. Se mancasse l' energia di moto, l' oggetto non avrebbe massa; il più piccolo impulso gli impartirebbe una velocità illimitata, ed esso si sottrarrebbe ugualmente ad ogni constatazione da parte nostra. Se finalmente mancasse l' energia di gravitazione, esso non rimarrebbe sulla terra e si toglierebbe

così ugualmente al controllo dei nostri sensi. Ne viene dunque, che la coesistenza delle suddette tre forme di energia è necessaria affinchè un oggetto possa essere da noi percepito, e che a nostra conoscenza possono giungere solo quei sistemi energetici, che contengono queste tre forme riunite nello spazio. Se esistano anche oggetti privi dell' una o dell' altra di queste forme di energia, noi non sappiamo nè possiamo sapere; siccome però essi ad ogni modo non fanno parte del nostro mondo, così noi non abbiamo nè la possibilità nè alcun motivo di tenerne conto.

Così noi ammettiamo bensì, che realmente il concetto di materia si fonda su una determinata esperienza; ma che questa però nella formazione del concetto ha ricevuto un' espressione imperfetta e disadatta. Nel linguaggio scientifico perciò non c' è più scopo di continuare ad usare la parola *materia*. Quei complessi delle tre forme di energia li chiamiamo, attenendoci all' uso comune, *corpi*. Si capisce benissimo ora, che di un corpo non rimarrebbe nulla, se gli si togliessero le sue qualità, vale a dire le energie congiunte in questo spazio; poichè il corpo non essendo altro che un complesso di energie, è impossibile concepire questo complesso quando si sopprimono i suoi componenti.

Non è mio compito dimostrare qui, che tutta la fisica, compresa la chimica e la fisiologia si può rappresentare in modo sintetico ed esauriente sotto forma di energetica. Ciò si ammette perfino dagli avversari, solo che essi mettono in dubbio la opportunità di una tale trattazione.

Io credo però d' averla dimostrata a sufficienza sia qui che nei miei numerosi trattati. È assai caratteristico il modo, con cui al presente si pone in evidenza la maggiore opportunità della concezione energetica nella fisiologia e nella biologia. Queste due scienze sono state fino ad ora molto compromesse dalla meccanica atomistica, che le soffocava a a furia di problemi apparenti; basta rammentare le innumerevoli teorie dell' ereditarietà, che come tali non si potevano nè dimostrare nè confutare, e che perciò divennero un fonte inesauribile di oziose discussioni. Al presente i più incominciano a persuadersi, che riportando i problemi al loro fondamento energetico, tutti quei problemi apparenti vengono eliminati, e la scienza è finalmente di nuovo in grado di porre delle questioni reali e di cercarne e trovarne le soluzioni reali.

Certo però l'energetica, nello stato in cui si trova presentemente, non comprende ancora tutte le varietà che noi troviamo in azione nei fenomeni biologici. Specialmente le modalità di spazio e di tempo nel decorso di una trasformazione di energia di cui sia data la specie e la misura, sono regolate da leggi sul tipo della legge di Ohm, nelle quali occorrono costanti enormemente svariate. La teoria di questi fenomeni venne fondata da Fourier nei suoi studî sulla conduttività del calore, ma uno sviluppo razionale di questi rapporti è in tutto e per tutto compito dell'avvenire, e possiamo anzi dire che è per ora il problema più importante dell'energetica. La biologia si trova ad ogni piè sospinto alle prese con determinazioni di questo genere, e nell'introduzione di concetti corrispondenti, come sono ad es. i *dominanti* di Reinke, si sente la necessità di signoreggiare col pensiero tali problemi per quanto questo non c'insegni ancora la via di appagarla. Questa sarebbe trovata, se si potesse stabilire una qualche qualità o regolarità generale per questi *dominanti*.

D'altra parte l'applicazione dell'energetica, nei suoi limiti attuali, alle diverse scienze, non è per nulla esaurita. Per mostrare quali ricchi frutti possa arrecare lo studio di questi campi ancora vergini, darò come chiusa di questa mia esposizione, lo schizzo di una *trattazione della storia della civiltà dal punto di vista energetico.*

Ciò che distingue l'uomo dagli animali è la *civiltà*. Essa consiste — nel senso più esteso — nella facoltà che l'uomo ha, di esercitare un dominio assai più completo su quanto lo circonda. In altre parole, l'uomo è capace di influenzare e di dirigere gli eventi, in modo che si svolgano conforme ai suoi bisogni ed alle sue aspirazioni. Questa sua facoltà non è illimitata, ma il progresso della civiltà si manifesta appunto nell'aumento della padronanza dell'uomo sul suo mondo. Ora come vedemmo, tutti gli avvenimenti possono definirsi per trasformazioni di energia: il poter influire su questi eventi, dipende dunque direttamente dal poter dominare le trasformazioni energetiche e la storia della civiltà è la storia del crescente dominio dell'uomo sull'Energia.

Per riconoscere con quanta precisione i risultati di queste considerazioni, che sembrano assai generali, rispondano alla realtà in ogni singolo caso, proviamoci a rappresentare schematicamente dal punto di vista energetico il primo sviluppo

dell' uomo dal suo primo stato animale. Si suole considerare l'impiego di *strumenti* quale la prima manifestazione della civiltà nell'ascesa della stirpe umana. Ora un istrumento può essere esattamente definito come un *mezzo atto a dare la forma voluta alla energia bruta preesistente.* Uno strumento non è adunque altro che un *trasformatore di energia* ed è tanto più perfetto, quanto più completamente permette di compiere tale trasformazione. Come primi strumenti avranno servito, verosimilmente, aste, mazze e pietre. L' energia che l' uomo primitivo (come l' animale) aveva unicamente a sua disposizione, era l'energia chimica della sua alimentazione, accumulata nei suoi muscoli. Quest' energia ha un determinato valore e poteva esser messa in opera in una estensione di spazio determinata, per ogni posizione del corpo, dalla lunghezza delle braccia.

Col prendere in mano un' asta l' uomo ottenne di poter *aumentare della lunghezza dell' asta il raggio d' azione della sua energia muscolare,* e quindi di poterla applicare in modo più adatto ai suoi scopi. Servendosi di una mazza egli potè *accumulare* la sua energia muscolare in forma d' energia cinetica e trasportarla tutta in una volta nel punto colpito dalla sua mazza. Così si poteva compiere un lavoro che non si sarebbe potuto eseguire valendosi direttamente della energia muscolare sotto forma di pressione.

Un gran progresso fu costituito dalla scoperta del *lancio* e dal conseguente uso dei *projettili.* Essa congiunge ed amplia tutti e due i progressi suddetti. Cioè la cerchia d' azione dell' energia muscolare aumenta considerevolmente e ad un tempo l' energia s' *accumula* sommandosi durante il lancio. A ciò si connettono altri progressi che stanno nella scelta e nella conformazione dell' oggetto da lanciarsi, e mirano da un lato ad ottenere il massimo valore, dall' altro ad impartire la direzione più esatta. Nella freccia e nell' arco troviamo un progressivo perfezionamento di questo problema; l' energia muscolare si trasforma temporaneamente in energia elastica o di forma dell' arco teso, soprattutto per ottenere dei vantaggi riguardo alla direzione, mentre la disposizione a foggia di balestra mira allo scopo di raccogliere la più gran quantità di energia che può esser preparata molto tempo prima del tiro e perciò adattata meglio allo scopo prefisso.

Un' altra forma di trasformazione d' energia è la *concen-*

trazione dell'energia in piccole superfici. Tali sarebbero le armi *da taglio e da punta;* coll'impiccolire la superficie di pressione esse fanno sì che il lavoro muscolare si eserciti con tanto maggiore intensità. Lo strumento affilato e appuntito taglia e fora oggetti che resistono invece alla pressione di un pugno o di un sasso.

La combinazione sistematica di questi artificî produsse ben presto altri progressi. Spada e lancia congiungono l'allungamento della portata del braccio con l'azione concentrata della lama e della punta; gli strumenti da getto e da tiro si conformano alla stessa maniera, e ne vengono il giavellotto e la freccia.

Tutte queste invenzioni si riferiscono all'applicazione pratica dell'energia primaria esistente nei muscoli dell'uomo. Fu dunque un immenso progresso quando l'individuo fece servire ai suoi scopi *altre fonti* di energia. Queste furono in parte energie fisiologiche affini: schiavi e animali domestici addestrati al lavoro caratterizzano questo stadio; io ritengo anzi probabile che prima si utilizzassero gli schiavi. Ma poi anche le energie *inorganiche,* come il fuoco e il vento furono sfruttate dall'umanità. In questo modo troviamo in base alla concezione energetica, un incessante progresso che ci conduce fino alle più complesse applicazioni dei nostri giorni.

Una seconda serie di osservazioni parallela a questa si connette alla *produzione dell'energia chimica della nutrizione,* che è lo stadio preparatorio indispensabile per la produzione ed utilizzazione dell'energia muscolare. La raccolta di provviste per il tempo in cui non è possibile procurarsene direttamente, costituisce la ben nota base della capitalizzazione.

Il *valore* in generale ha per base la trasformazione dell'energia. Una stessa quantità di energia (misurata numericamente) non ha, com'è noto, sempre lo stesso valore, neanche qualora appartenga a processi naturali non utilizzati; perchè una data quantità di energia è tanto meglio trasformabile, quanto maggiori sono le differenze di intensità che essa ha rispetto a ciò che la circonda. L'apprezzamento del valore dell'energia per gli usi della vita è determinato in modo simile, solo un poco più complicato da differenze di intensità e dai coefficienti di trasformazione che ne dipendono. Una data quantità di energia ha, in genere, tanto maggior valore, quanto più completamente essa si può trasformare in energia per noi utilizzabile. Così, un pezzo di carbon fossile ed un

pezzo di carne arrostita possono bensì contenere lo stesso importo di energia chimica (sia che si consideri la energia totale, o solo quella libera) ma hanno per l'uomo un valore ben diverso nella pratica. Ciò dipende dal fatto che l'uomo col suo apparato digerente può utilizzare bensì l'energia chimica della carne, ma non quella del carbone.

Questo confronto dà un'idea di questo genere di cose. La natura ci offre l'energia bruta: in primo luogo quella che ci viene dall'irradiazione solare; in secondo luogo i prodotti di trasformazione di quest'energia, che si sono formati senza l'intervento dell'uomo. È compito generale dell'umanità di fronte alla natura, di trasformare quest'energia bruta in forme direttamente adatte alle sue esigenze. In ogni trasformazione di questo genere, una parte dell'energia bruta si trasforma in energia non utilizzabile che resta anche dopo raggiunto l'Equilibrio d'intensità (il che si riduce sempre, in ultima analisi, a raggiungere l'eguaglianza di temperatura) e *solo una certa parte della primitiva energia bruta raggiunge lo scopo.* Ogni macchina, ogni processo, infine ogni creatura intelligente che sappia correggere questo coefficiente di trasformazione ha un valore e tanto maggiore, quanto più rilevante è la correzione e quanto più grande è l'importanza che, per i bisogni dell'umanità, ha il genere di energia al quale la correzione appostata si riferisce.

Questo *criterio del valore* è generale; esso si riferisce tanto ai fatti più semplici della vita quotidiana, quanto alle più elevate funzioni della scienza e dell'arte. Dire dell'applicazione pratica di questo concetto nei vari campi dell'attività umana, richiederebbe un volume; basti per ora l'accenno fatto. Noi esortiamo però il lettore ad applicare il principio in tutte le circostanze che gli presentino un interesse speciale, per persuadersi se e come risponde al suo scopo.

In tutte le considerazioni suesposte non s'è mai accennato alla questione delle relazioni dei fenomeni psichici con l'energia. Io ho già esposto da molto tempo la mia opinione, che tutta la psicologia dovrà trovare un fondamentale incremento, quando si accetterà la prototesi della esistenza di una energia psichica. Questo si rende manifesto specialmente in ciò, che il vecchio problema: come avvenga la cooperazione dello spirito e della materia, risulta essere un problema apparente e perciò viene senz'altro eliminato.

Ciò vale a dire che se da un lato non esiste alcun ostacolo fondamentale per spiegare energeticamente i fenomeni psichici e d'altra parte si riconosce la cosidetta materia come una speciale combinazione di energie, allora scompare il contrasto fondamentale prima ammesso tra i due campi ed il problema della relazione esistente tra corpo e spirito entra nello stesso ordine di quello che riguarda, per es., la dipendenza tra energia chimica ed elettrica, problema questo che è trattato e, fino ad un certo punto risolto nella teoria della pila voltaica.

Gross-Bothen (Sassonia), febbraio 1907.

WILHELM OSTWALD